UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

# UNE NOUVELLE APPROCHE POUR LA PLANIFICATION DES OPÉRATIONS DE TRANSPORT DES MARCHANDISES

par

Louis Delorme, Teodor Gabriel Crainic
et Jacques Roy[1]

**CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS**

CASE POSTALE 6128, SUCCURSALE A, MONTRÉAL, QUÉBEC H3C 3J7

# UNE NOUVELLE APPROCHE POUR LA PLANIFICATION DES OPÉRATIONS DE TRANSPORT DES MARCHANDISES

par

Louis Delorme, Teodor Gabriel Crainic
et Jacques Roy[1]

[1] Département des sciences administratives,
Université du Québec à Montréal

Communication présentée au 21e Congrès de l'Association québécoise du transport et des routes (A.Q.T.R.), Québec, 12-14 mars 1986

Cette recherche a été publiée grâce à une subvention du Fonds F.C.A.R. pour l'aide et le soutien à la recherche

Université de Montréal
Centre de recherche sur les transports - Publication #444
Janvier 1986

## RÉSUMÉ

Nous présentons les grandes lignes d'une méthodologie de modélisation et de résolution, basée sur des méthodes de recherche opérationnelle, pour le problème de planification tactique (moyen terme) du transport multimode des marchandises. Dans notre approche, des stratégies d'opération sont générées, évaluées et sélectionnées lorsque tant le problème de design du réseau de service que celui de l'acheminement des marchandises sont traités d'une façon globale et unifiée au niveau de tout le réseau. Les critères de décisions tiennent compte des facteurs économiques et de la qualité du service. Cette méthodologie a été appliquée à deux cas : un problème de transport par chemin de fer et un problème de camionnage en lots brisés. Elle est présentement expérimentée dans l'entreprise de transport Brazeau Inc. Cet article présente les principes de modélisation et algorithmiques de cette méthode, quelques résultats extraits de l'application au problème de camionnage, ainsi que les grandes lignes de l'outil de planification que nous mettons actuellement au point.



MOTS-CLÉS : transport, marchandises, transport intercité, planification, opérations, recherche opérationnelle.

## INTRODUCTION

L'industrie du transport des marchandises en général, et du camionnage en particulier, occupe une place importante dans l'économie québécoise. Ainsi, on estime dans un document préparé par le ministère des Transports [1] que les recettes totales de l'industrie du transport routier des marchandises du Québec furent d'environ quatre milliards de dollars en 1982.

Malgré l'importance de cette industrie dans notre économie et en dépit du fait qu'elle ait connu de sérieuses difficultés financières attribuables, du moins partiellement, à un ralentissement dans l'augmentation de sa productivité durant ces dernières années, relativement peu de travaux de recherche ont été consacrés jusqu'à présent au développement de méthodologies et d'outils d'aide à la planification des opérations des entreprises de transport. De telles études sont d'autant plus nécessaires maintenant qu'un nouveau contexte de réglementation semble prendre forme au Québec et au Canada.

Notons aussi la grande complexité de ce domaine. Ainsi, l'industrie du transport des marchandises fait intervenir plusieurs niveaux de décisions, de nombreux participants aux objectifs souvent contradictoires et une quantité importante de ressources humaines et matérielles. Dans un tel contexte, la recherche opérationnelle peut être d'une aide considérable en offrant des outils efficaces qui facilitent et améliorent les nombreuses activités de planification.

Nous travaillons actuellement au développement de TRANSPLAN, un système d'aide à la planification des compagnies qui, telles les entreprises de camionnage ou ferroviaires, à la fois offrent des services de

transport et contrôlent l'acheminement des marchandises à travers leur réseau de transport. Ce système facilitera l'analyse et la résolution de problèmes de planification à long, moyen et court terme. Il comprendra un noyau méthodologique, une interface ainsi qu'une banque de données. L'interface permettra à l'utilisateur de communiquer interactivement avec le système afin de manipuler aisément données et résultats. Nous ferons appel entre autres à la représentation graphique de l'information. Le noyau méthodologique comprendra plusieurs modèles de recherche opérationnelle, des procédures de post-optimisation pour l'étude de scénarios et des algorithmes de résolution.

Nous avons récemment développé un des éléments de TRANSPLAN, soit une approche de modélisation globale pour le problème de planification à moyen terme (tactique) des opérations de transport [2]. Cette approche a été utilisée avec succès par Crainic et coll. [3] ainsi que par Roy [4] pour résoudre deux problèmes complexes, le premier relatif au transport par rail et l'autre au transport routier de lots brisés. Nous expérimentons présentement cette méthodologie dans l'entreprise de camionnage Transport Brazeau Inc., ainsi qu'à l'aide de données provenant de la Société nationale des chemins de fer français.

Notre modèle tient compte des principaux aspects du processus de décision au niveau tactique de planification et considère les compromis à faire entre des critères de décision souvent contradictoires. Elle permet d'améliorer le processus de planification par la génération et l'évaluation systématiques et efficaces d'un grand nombre de stratégies globales d'opérations.

Le but de cet article est de mettre en évidence l'apport important que pourrait représenter une telle approche pour l'industrie du transport du Québec. Pour y arriver, nous donnons en premier lieu une brève descrip-

tion du problème. Nous abordons par la suite l'aspect méthodologique de notre approche et présentons quelques résultats expérimentaux. Nous terminons par un aperçu des applications possibles de notre modèle ainsi que des directions futures de recherche.

## LE PROBLÈME

La structure de base de tout système de transport de marchandises consiste en un réseau complexe de terminus reliés entre eux par des liens physiques ou conceptuels. Sur ce réseau, les services offerts par le transporteur sont généralement assurés par une flotte de véhicules qui transportent la marchandise entre les noeuds (paires origine-destination) du réseau. Ces véhicules se déplacent parfois en suivant un horaire et un itinéraire préétablis par le transporteur. La marchandise est habituellement classifiée par type de commodité, selon sa valeur ou ses caractéristiques physiques. Dans les terminus, diverses opérations doivent être réalisées soit, par exemple, la classification et la consolidation des marchandises.

Dans le but de contrôler toutes ces activités et d'utiliser d'une façon efficiente les ressources du système, plusieurs politiques doivent être définies et implantées. Ces problèmes et politiques sont généralement classés en trois groupes, correspondant aux trois niveaux de planification qui suivent :

1) stratégique : on retrouve à ce niveau des décisions qui impliquent une grande partie de l'organisation, qui ont des incidences financières importantes et qui ont une portée à long terme. Ces décisions sont reliées à la conception du système de transport, c'est-à-dire au choix :
   - du type de marchandises transportées;
   - des territoires desservis;
   - des niveaux de services offerts à la clientèle;
   - de la configuration du réseau de terminus requis.

Nous étudions présentement certains problèmes rencontrés à ce niveau en vue de la conception du système TRANSPLAN, dont entre autres celui de la localisation des dépôts d'équipement et de repositionnement de l'équipement vide.

2) opérationnel : ce niveau concerne la gestion à très court terme, souvent hebdomadaire ou quotidienne et parfois en temps réel des opérations. On se préoccupe davantage des détails relatifs aux terminus et à l'équipement utilisé et on se situe souvent à des niveaux hiérarchiques peu élevés dans l'organisation. Les décisions importantes prises à ce niveau sont :

   - l'élaboration des horaires de transport et du personnel;
   - l'affectation de l'équipement;
   - la répartition des véhicules sur le réseau de transport;
   - l'allocation des ressources dans les terminus;
   - la gestion des retours de l'équipement vide.

   Toujours dans le cadre du système TRANSPLAN, nous travaillons actuellement au développement de procédures informatisées qui permettront entre autres :

   A) d'ajuster, pour les jours à venir, le plan tactique d'opérations à partir d'informations ponctuelles pour ainsi répondre à la demande prévue;

   B) de gérer les retours à vide des véhicules d'une façon efficiente.

   Nous ne prévoyons pas, pour le moment, travailler sur le problème de dispatching quotidien.

3) tactique : ce niveau se situe quelque part entre la planification stratégique à long terme et la gestion opérationnelle à très court terme. Ce type de planification est nécessaire pour assurer une allocation rationnelle et efficiente des ressources existentes dans le but d'améliorer la performance du système. Les décisions prises à ce niveau concernent les problèmes suivants :

- le design du réseau de services; l'établissement des itinéraires et la détermination des caractéristiques de chaque service (mode, fréquence, etc.) afin de s'ajuster aux variations saisonnières de la demande;
- la distribution du trafic des marchandises dans le réseau de services;
- les politiques de classification dans les terminus de consolidation;
- l'achat d'équipement de manutention et le remplacement du matériel roulant.

Le niveau stratégique de planification permet de définir les politiques globales de l'entreprise pour les décisions prises au niveau tactique, qui, à leur tour, déterminent les objectifs et les contraintes régularisant le système de transport pour le niveau opérationnel de planification. Cette relation hiérarchique, ou verticale, entre les trois niveaux rend difficile la formulation d'un modèle unique pour tout le processus de planification.

Un autre type de relation, dite horizontale, entre les décisions à prendre à un niveau de planification donné peut être observé, et plus particulièrement au niveau tactique. Par exemple, si on prévoit que la demande pour le transport routier de marchandises en lots brisés pour un marché quelconque augmentera dans les prochains mois, on pourrait augmenter le nombre de remorques sur l'itinéraire utilisé pour desservir ce marché afin de satisfaire cette demande additionnelle; ceci aura pour effet d'accroître les coûts de transport intercité tout en conservant intacte la fiabilité de service. On pourrait tout aussi bien décider de maintenir telles quelles les fréquences de service, et rediriger le trafic additionnel vers d'autres terminus (de consolidation) en modifiant leur itinéraire; cette politique aura toutefois pour conséquence d'augmenter les coûts de manu-

tention, le temps de service moyen offert pour ce marché, la congestion aux terminus de consolidation, ce qui devrait alors affecter la fiabilité du service. Par conséquent, les stratégies développées pour un problème influencent et sont influencées par celles élaborées pour d'autres problèmes. Les décisions devraient alors être prises globalement, en tenant compte du réseau de transport dans son ensemble, tout en établissant des compromis entre la minimisation des coûts d'opérations de l'entreprise et la maximisation de la qualité du service offert à la clientèle.

NOTRE APPROCHE

Dans notre approche, le processus de planification tactique est vu comme un problème d'optimisation qui peut être modélisé et résolu à l'aide de techniques de programmation mathématique. Ce problème en est un de design d'un réseau multimodal de services de transport, où l'objectif visé est la minimisation d'une fonction de coût généralisée qui tient compte des opérations de transport, des délais et de la fiabilité du service, etc.

Notre approche diffère passablement de celle utilisée par Terziev et coll. [5] ainsi que par Barker et coll. [6]. Les travaux de ces auteurs semblent être les premiers à apparaître dans la littérature concernant la planification des opérations dans l'industrie du camionnage par le biais de la recherche opérationnelle. Le modèle proposé par Terziev et coll. a pour but d'aider les entreprises à évaluer différentes stratégies d'opération; ce modèle ne semble pas avoir été utilisé en pratique. Barker et coll. ont, de leur côté, développé et implanté un modèle d'évaluation pour une entreprise de camionnage américaine (ANR Freight Systems Inc.). Leur modèle peut être utilisé en mode interactif et, comme le précédent, il mesure les conséquences en termes de coûts et de niveaux de service des plans d'opération qui lui sont donnés. Une des principales caractéristi-

ques de ces deux modèles est leur nature descriptive. Or, les modèles d'évaluation sont d'une utilité marginale lorsque l'on désire obtenir une solution optimale ou, au moins, près de l'optimum.

Powell et Sheffi [7] (voir aussi [8]) ont fait appel à une toute autre approche, soit l'utilisation d'un modèle normatif (d'optimisation) pour résoudre le "load planning problem" rencontré dans l'industrie du camionnage, c'est-à-dire la détermination des services directs et des chemins que devraient suivre les marchandises à travers le réseau de services afin de minimiser les coûts tout en maintenant le service à un niveau acceptable. Les auteurs présentent une formulation du problème sous la forme d'un modèle de programmation mathématique de grande taille en variables mixtes; le modèle est résolu à l'aide d'une heuristique. La fonction objectif consiste à minimiser la somme des coûts de transport et de manutention et des coûts engendrés par le déplacement à vide des remorques pour maintenir le système en équilibre. Le modèle a été expérimenté sur un réseau de grande taille (300 terminus), celui de la compagnie américaine Ryder/Pie Nationwide, montrant des résultats très encourageants. Cependant, il ne considère pas les fréquences de service comme des variables décisionnelles. De plus, il ne tient pas compte des phénomènes de congestion qui se produisent dans les terminus de consolidation lorsque le volume de marchandises manutentionnées augmente. Enfin, il ne tient compte, au mieux, que du temps de transit comme critère de service, alors qu'on devrait considérer à la fois la durée et la variabilité du temps de transit comme indicateurs d'un service rapide et fiable.

Nous croyons qu'une approche normative est correcte. Nous avons conçu notre modèle en ce sens; il fait intervenir les trois éléments cités ci-haut absents du modèle de Powell et Sheffi, soit des fréquences de service variables, la congestion dans les terminus de consolidation ainsi que la variabilité du temps de transit. Nous présentons, dans les lignes

qui suivent, les principes généraux de notre approche globale de modélisation appliquée au problème du transport routier de marchandises en lots brisés. De plus amples détails sont fournis par Roy [4], ainsi que par Crainic et coll. [3] pour le transport ferroviaire des marchandises.

Le réseau de transport d'une entreprise de camionnage est un réseau physique constitué d'un ensemble de noeuds (les terminus d'origine et de destination de la marchandise, les terminus de consolidation, etc.) et d'arcs (segments de routes) reliant entre eux ces noeuds. On retrouve dans la formulation du modèle deux notions importantes, soit celles de service et d'itinéraire. Un service définit un mode de transport offert sur un segment de route donné. Un service est donc caractérisé par un terminus d'origine, un terminus de destination et un mode de transport. La fréquence est une autre caractéristique importante d'un service; elle correspond au niveau de ce service pour la période de planification choisie. L'ensemble de tous les services offerts par une entreprise de camionnage définit son réseau de services. Un itinéraire est défini comme la suite de services empruntés par la marchandise depuis son origine jusqu'à sa destination finale et spécifie les opérations de classification et de manutention effectuées aux terminus intermédiaires.

À partir de ces notions, il est possible de définir complètement le cheminement de la marchandise pour chaque marché, i.e. po chaque paire origine-destination. Les fréquences de service ainsi que le volume de marchandises circulant sur chaque itinéraire sont déterminés par le modèle. Ce dernier suppose que le coût total du système doit être minimisé, tout en satisfaisant la demande prévue pour la période de planification choisie, et les contraintes habituelles de non-négativité et d'intégralité (pour les fréquences) des variables. C'est au niveau de la fonction objectif que l'on retrouve les compromis à faire entre la minimisation des coûts d'opération et la minimisation des délais qui se manifestent dans

les terminus et sur les segments de route, ou si l'on préfère la recherche du meilleur service possible à coût minimum. Les coûts d'opération représentent les coûts réels de transport intercité selon les modes et segments de routes utilisés, ainsi que les coûts de manutention dans les terminus de consolidation. Quant aux délais, ils sont utilisés pour calculer le temps moyen de transit de la marchandise empruntant un itinéraire donné pour chacun des marchés. Cette moyenne, ajustée pour tenir compte de la variance du temps de transit, est alors comparée au temps de service désiré par l'entreprise; ce mécanisme est inclus dans la fonction objectif du modèle sous la forme de coûts de pénalité. Les délais dans les terminus tiennent compte :

- du temps requis pour le transport des marchandises sur chaque segment de route;
- du temps d'attente avant le déchargement de la marchandise;
- du temps de déchargement et de classification;
- du temps d'attente sur les quais de chargement (délais de fréquence).

Un dernier élément dans la fonction objectif du modèle tient compte de la capacité de transport de chaque service : il représente les coûts associés à un coefficient d'utilisation trop élevé de la capacité.

La structure du modèle pour le problème du transport routier des marchandises en lots brisés est la suivante [4] :

$$\text{Minimiser} \quad \{\sum_{\ell} C_{\ell}^{t} F_{\ell} \qquad \text{(Coûts de transport)}$$

$$+ \sum_{j} C_{j}^{c} X_{j}^{c} \qquad \text{(Coûts de manutention aux terminus de classification)}$$

$$+ \sum_{m} \sum_{k} C_{m}^{s} X_{k}^{m} \{\min[0, S_{m} - E(T_{k}^{m}) - n\sigma(T_{k}^{m})]\}^{2} \qquad \text{(Coûts de pénalité pour mauvais service)}$$

$$+ \sum_{\ell} C_{\ell}^{p} \{\min[0, (0{,}9 - X_{\ell}/\alpha_{\ell} F_{\ell})]\}^{2}\} \qquad \text{(Coûts de pénalité pour dépassement de capacité)}$$

sujet à

$$\sum_k X_k^m = d^m \qquad \text{pour tout } m, \text{ (contraintes de demande)}$$

$$X_k^m > 0 \qquad \text{pour tout } k \text{ et } m$$

$$0 < F_\ell < E_\ell \qquad \text{et } F_\ell \text{ entier pour tout } \ell.$$

où les variables décisionnelles sont :

$F_\ell$, la fréquence du service $\ell$,

et $X_j^c$, $X_k^m$ et $X_\ell$, les quantités de marchandises respectivement manutentionnées au terminus j, voyageant sur l'itinéraire k pour le marché m, et transportées par le service $\ell$.

et où :

$C_\ell^t$ le coût unitaire du service $\ell$,

$C_j^c$ le coût unitaire de manutention et de classification au terminus j,

$C_m^s$ le coût unitaire de pénalité pour mauvais service pour le marché m,

$S_m$ le temps de service désiré pour le marché m,

$T_k^m$ le temps de transit de la marchandise du marché m empruntant l'itinéraire k,

$E(T_k^m)$ son espérance mathématique et $\sigma(T_k^m)$ son écart-type,

n un nombre positif fonction de la fiabilité requise,

$C_\ell^p$ le coût unitaire de pénalité pour dépassement de capacité sur le service $\ell$,

$\alpha_\ell$ la capacité d'une unité de transport opérant un service $\ell$,

$d^m$ la demande du marché m,

$E_\ell$ le nombre maximal d'unités de transport disponibles pour le service $\ell$.

Le temps de transit $T_k^m$ est obtenu en sommant les délais de fréquence et les temps de transport espérés associés à chaque service $\ell$ emprunté, ainsi que les temps espérés de manutention aux différents terminus de classification rencontrés. Les expressions pour les délais de fréquence sont dérivés à l'aide de la théorie des files d'attente. Ces délais dépendent à la fois de la capacité du service considéré ($\alpha_\ell$) ainsi que de son taux d'utilisation ($X_\ell / \alpha_\ell F_\ell$). Les temps de transport sont obtenus en calculant les moyennes et écarts-types sur la base des temps observés pour une période de temps donnée. Finalement, le temps de manutention inclut le temps d'attente de la marchandise dans les remorques avant le début du déchargement (expression dérivée à l'aide de la théorie des files d'attente) ainsi que le temps de déchargement et de classification. Ces temps dépendent entre autres de la taille et de la configuration du terminus considéré de même que de la productivité des employés de manutention.

Notre approche permet d'intégrer dans le modèle d'autres types de contraintes telles des restrictions sur la taille de la flotte ou sur l'utilisation de certaines catégories de véhicules. Des contraintes de ce dernier type sont d'ailleurs utilisées pour l'application dans l'entreprise Transport Brazeau Inc.

Notons que, tel qu'exemplifié par les applications au domaine du transport ferroviaire des marchandises [3, 11], l'approche de modélisation que nous proposons permet également la prise en compte et la modélisation efficace d'autres phénomènes complexes et déterminants pour la bonne marche d'un système de transport : la congestion engendrée par plusieurs modes utilisant les mêmes voies, la classification de véhicules afin de former des blocs et des convois (voir aussi [13]), etc.

Dans tous les cas, la formulation génère un problème d'optimisation (multiflots) non-linéaire mixte de grande taille. Pour résoudre ce problème, Crainic [9] tire profit de la structure particulière du modèle en

appliquant des méthodes de décomposition permettant de traiter alternativement et séparément les problèmes de la détermination des fréquences de service et de la distribution des marchandises sur les itinéraires. Une procédure de génération des colonnes et la méthode du gradient sont entre autres utilisées pour résoudre les sous-problèmes générés par cette approche de résolution. L'algorithme est décrit de façon plus générale et ses propriétés et performances sont analysées par Crainic et Rousseau [2].

Dans le cas du problème du transport routier de lots brisés, il faut de plus rééquilibrer le réseau après avoir utilisé le modèle, c'est-à-dire rétablir l'équilibre qui existait avant la détermination des fréquences de service entre le nombre de remorques quittant et celui arrivant à chacun des terminus du réseau. Il s'agit d'une étape importante dans le processus de la planification globale car elle permet de prévoir, quelques mois d'avance, la nature du déséquilibre engendré par l'application du plan d'opérations obtenu précédemment. L'entreprise peut alors prévoir des stratégies visant à éliminer le retour à vide, donc sans revenus, de remorques vers les terminus déficitaires. Notre procédure permet d'ajouter ou d'éliminer les fréquences de service nécessaires pour rééquilibrer le réseau tout en minimisant le coût total à l'aide d'un algorithme de transport adapté à ce problème. Cette procédure est suffisamment flexible pour tenir compte de la possibilité de solliciter des voyages de retour ("truckloads") pour ainsi absorber une partie des coûts engendrés par le rééquilibrage du réseau.

## L'EXPÉRIMENTATION

Tel que mentionné précédemment, nous avons appliqué notre approche à l'étude de problèmes provenant du transport ferroviaire des marchandises et du transport routier de lots brisés. Ces expérimentations ont été rendues possibles grâce à la précieuse collaboration de compagnies de

transport, dont le Canadien National et la compagnie Transport Brazeau Inc., qui nous ont fourni les définitions des problèmes ainsi que les données. Les tests ont été exécutés sur l'ordinateur CDC Cyber 173 de l'Université de Montréal.

Notre approche a été testée par Roy [4] sur des données réelles d'octobre 1982 provenant de la division de messageries du Canadien National (CNX). Cette compagnie gérait à l'époque un réseau de 34 terminus desservant un total de 959 marchés, d'un océan à l'autre, en ayant recours à 289 services différents. Ces services dépendent entre autres des caractéristiques suivantes :

- la capacité de l'équipement utilisé;
- le mode de transport (camion, wagon de chemin de fer, conteneur, remorque transportée par rail);
- la responsabilité de la compagnie quant au retour des remorques;
- le transport effectué par la compagnie vs le transport sous-traité à des entrepreneurs.

En comparant les résultats produits par notre modèle en termes de coûts d'opération et de service avec la performance de la compagnie pour le mois étudié, on peut observer une très nette augmentation du pourcentage des marchés qui fournissent un service fiable tout en obtenant une diminution sensible du coût total d'opération. Notons toutefois qu'à l'époque la compagnie CNX tentait désespérément de réduire ses coûts d'opération; de plus, elle avait beaucoup de difficultés à offrir un service fiable à sa clientèle, à cause d'une surutilisation de certains services ayant pour conséquence de laisser des quantités importantes de marchandises sur les quais de chargement, faute d'espace dans les remorques. Notre modèle propose malgré tout un plan d'opérations de loin supérieur à celui de la compagnie en allouant suffisamment de capacité pour transporter la marchandise tout en maintenant au minimum les coûts d'opérations.

De nombreuses analyses de scénarios ont été réalisées par Roy [4] avec cet ensemble de données. L'une d'elles donne une bonne idée des compromis à faire entre les coûts et le service, tel que montré à la Figure 1. On peut voir qu'il en coûte de plus en plus cher en termes de coûts de transport et de manutention pour augmenter le nombre de marchés satisfaisant les niveaux de service requis. Une telle augmentation est obtenue en haussant les coûts de pénalité pour service inadéquat. D'autres scénarios possibles concernent, par exemple, l'ajout ou le retrait de certains services, la création de terminus voués exclusivement à la consolidation des marchandises, une modification des temps de service désirés ou de la fiabilité de service requise, une hausse des coûts de transport, etc. Toutes ces analyses démontrent la versatilité et l'utilité de notre modèle pour répondre à des besoins spécifiques des gestionnaires d'entreprises de transport routier de marchandises en lots brisés.

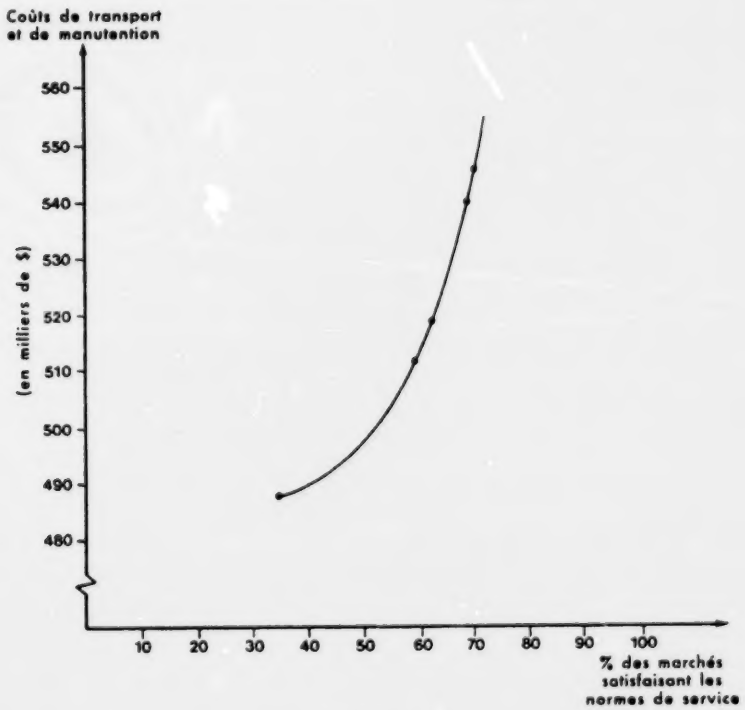


FIGURE 1

Relation entre les coûts d'opération et la performance de service

Nous expérimentons actuellement notre modèle à l'aide de données provenant de la compagnie Transport Brazeau Inc. Les résultats préliminaires laissent entrevoir certaines améliorations potentielles tant au niveau des coûts d'opération qu'à celui de la qualité du service offert. Des résultats similaires ont été obtenus lors des applications aux problèmes de transport ferroviaire des marchandises [2, 12].

## CONCLUSION

Notre approche globale de modélisation permet de considérer simultanément et explicitement deux problèmes de planification, soit le design du réseau de services (détermination des fréquences de service) et la distribution des marchandises dans le réseau. Cette approche, par sa modularité et sa flexibilité, permet une modélisation correcte des divers aspects du transport interurbain des marchandises et une adaptation réaliste du modèle au cas particulier de chaque entreprise. De plus, ces modèles sont résolus par des algorithmes efficaces et précis. Cette approche présente donc de nombreuses applications potentielles.

Pour la planification tactique, le modèle peut être utilisé en vue d'élaborer, à partir de prévisions à moyen terme de la demande, un plan d'opérations saisonnier pour minimiser les coûts de transport et de manutention des marchandises tout en offrant un service rapide et fiable. Le planificateur peut se servir du modèle en mode opérationnel afin de choisir parmi un certain nombre de solutions celle qui lui semble la plus réaliste à ses yeux, et de la manipuler par la suite jusqu'à ce qu'elle respecte toutes les règles non-écrites de la planification.

Dans un mode exploratoire, notre approche peut s'avérer fort utile pour faciliter l'analyse de décisions stratégiques affectant la réorganisation physique de réseaux de transport (ouverture et fermeture de terminus, nouvelles routes, fusion d'entreprises, etc.). Les stratégies propo-

sées pourraient ainsi être évaluées plus rapidement et avec moins d'efforts qu'actuellement.

L'insertion de cette méthodologie dans un logiciel intégré d'aide à la planification, comprenant aussi une interface interactive-graphique et une banque de données [10], permettra ainsi aux gestionnaires de générer, d'analyser et d'évaluer plus aisément et efficacement un plus grand nombre de stratégies d'opération ou de développement, amenant ainsi une amélioration de la qualité globale du plan de transport de l'entreprise et une plus grande satisfaction des exigences de ses clients.

## RÉFÉRENCES

[1] Ministère des Transports du Québec, "Pour une approche concertée du transport des marchandises". Bibliothèque nationale du Québec, (2e trimestre 1982).

[2] CRAINIC, T.G. et ROUSSEAU J.M., "Multicommodity, Multimode Freight Transportation : A General Modeling and Algorithmic Framework for the Service Network Design Problem", Transportation Research, À paraître prochainement.

[3] CRAINIC, T.G., FERLAND, J.A. et ROUSSEAU J.M. (1984), "A Tactical Planning Model for Rail Freight Transportation", Transportation Science 18, 2 (1984).

[4] ROY, J., "Un modèle de planification globale pour le transport routier des marchandises", thèse de doctorat en administration, École des H.E.C., Montréal, Publication #402, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal (1984).

[5] TERZIEV, M.N., RICHARDSON, F.W. et ROBERTS, P.O., "An Approach for the Evaluation of Freight Network Operations : A Stochastic Supply Model of the Regular-Route Motor Carrier Industry", Proceedings of the Transportation Research Forum, 19th Annual Meeting (1978).

[6] BARKER, H.H., SHARON, E.M. et SEN, D.K., "From Freight Flow and Cost Patterns to Greater Profitability and Better Service for a Motor Carrier", Interfaces 11, 6, (décembre 1981).

[7] POWELL, W.B. et SHEFFI, Y., "The Load Planning Problem of LTL Motor Carriers : Problem Description and a Proposed Solution Approach", Transportation Research A 17A, 471-480 (1983).

[8] POWELL, W.B., "A Local Improvement Heuristic for the Design of Less-Than-Truckload Motor Carrier Networks", Report EES- 85-3, School of Engineering and Applied Science, Princeton University (1985).

[9] CRAINIC, T.G., "Un modèle de planification tactique pour le transport ferroviaire des marchandises", thèse de doctorat, département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal (1982).

[10] CRAINIC, T.G. et ROY, J., "O.R. Tools for Tactical Freight Transportation Planning", publication #398, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal (1985).

[11] CRAINIC, T.G., "Planification tactique pour le transport ferroviaire des marchandises", Routes et Transports (été 1984).

[12] CRAINIC, T.G., "Transport ferroviaire des marchandises : deux outils d'aide à la planification à moyen et à long termes des opérations", Routes et Transports (hiver 1985).

[13] CRAINIC, T.G. et GENDREAU, M., "Approximate Formulas for the Computation of Connection Delays under Capacity Restrictions in Rail Freight Transportation", publication #438, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal (1985).